

IP SERVICES

[Home](#) [IP Services](#) [PatentScope](#) [Patent Search](#)


Search result: 1 of 1

(WO/2001/056057) METHOD FOR DETECTING GEOMETRICAL-OPTICAL ABERRATIONS

Biblio. Data	Description	Claims	National Phase	Notices	Documents
------------------------------	-----------------------------	------------------------	--------------------------------	-------------------------	---------------------------

Latest bibliographic data on file with the International Bureau

Publication Number: WO/2001/056057 **International Application No.:** PCT/DE2000/004578
Publication Date: 02.08.2001 **International Filing Date:** 20.12.2000
Chapter 2 Demand Filed: 31.07.2001

Int. Class.: H01J 37/153 (2006.01)

Applicants: CEOS CORRECTED ELECTRON OPTICAL SYSTEMS GMBH [DE/DE]; Englerstrasse 28 69125 Heidelberg (DE) (*All Except US*).
 JEOL LTD. [JP/JP]; 1-2, Musashino 3-chome Akishima Tokyo 196 (JP) (*All Except US*).
 ZACH, Joachim [DE/DE]; Hermann-Löns-Strasse 24 76684 Östringen (DE) (*US Only*).

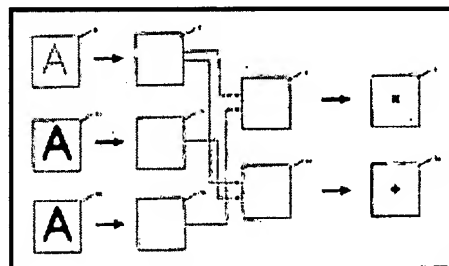
Inventor: ZACH, Joachim [DE/DE]; Hermann-Löns-Strasse 24 76684 Östringen (DE).

Agent: PÖHNER, Wilfried; Röntgenring 4 Postfach 63 23 97070 Würzburg (DE).

Priority Data: 100 03 127.7 26.01.2000 DE

Title: (EN) METHOD FOR DETECTING GEOMETRICAL-OPTICAL ABERRATIONS
 (DE) VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG GEOMETRISCH OPTISCHER ABBILDUNGSFEHLER

Abstract: (EN) The invention relates to a method for detecting geometrical-optical aberrations up to the third order in particle optics systems that use probes, especially in scanning electron microscopes that have a punctiform source, lenses, an object and a detector. The image is detected (6), the process is repeated with an underfocussed or overfocussed beam, and the images (6, 6a, 6b) are subjected to a Fourier transformation. The transformation of the overfocussed as well as of the underfocussed image (7a) is divided (8) by that of the focussed image (7) and the result is subjected to a reverse transformation, thereby detecting the brightness profiles of the probes (5, 5a), that is of the images of the source (1) in the overfocussed and underfocussed state. The asymmetry, the width and/or the curvature of the profile (9, 9a) in the center is determined and aberrations are detected from the differences.



(DE) Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Ermittlung geometrisch optischer Abbildungsfehler bis einschliesslich 3. Ordnung in teilchenoptischen, sondenformenden Anordnungen, insbesondere Rasterelektronenmikroskopen, mit einer punktförmigen Quelle, Linsen, einem Objekt und einem Detektor, wobei die Abbildung erfasst wird (6), der Vorgang mit einem unter- und einem überfokussierten Strahl wiederholt wird, die Abbildungen (6, 6a, 6b) in den Fourierraum transformiert werden, die Transformation der überfokussierten als auch unterfokussierten Abbildung (7a) durch die der fokussierten Abbildung (7) dividiert (8) und das Ergebnis zurücktransformiert wird, und somit die Helligkeitsprofile der Sonden (5, 5a), d.h. der Abbildungen der Quelle (1) im Über- und Unterfokus, ermittelt werden, die Asymmetrie, die Breite und/oder die Krümmung des Profils (9, 9a) im Schwerpunkt bestimmt wird, und aus den Unterschieden die Abbildungsfehler ermittelt werden.

Designated JP, US.

States: European Patent Office (EPO) (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
2. August 2001 (02.08.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/56057 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01J 37/153**

(72) Erfinder; und

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE00/04578**

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **ZACH, Joachim**
[DE/DE]; Hermann-Löns-Strasse 24, 76684 Östringen
(DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. Dezember 2000 (20.12.2000)

(74) Anwalt: **PÖHNER, Wilfried**; Röntgenring 4, Postfach 63
23, 97070 Würzburg (DE).

(25) Einreichungssprache: **Deutsch**

(81) Bestimmungsstaaten (national): **JP, US.**

(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**

(30) Angaben zur Priorität:
100 03 127.7 26. Januar 2000 (26.01.2000) **DE**

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **CEOS CORRECTED ELECTRON OP-
TICAL SYSTEMS GMBH** [DE/DE]; Englerstrasse
28, 69125 Heidelberg (DE). **JEOL LTD.** [JP/JP]; 1-2,
Musashino 3-chome, Akishima, Tokyo 196 (JP).

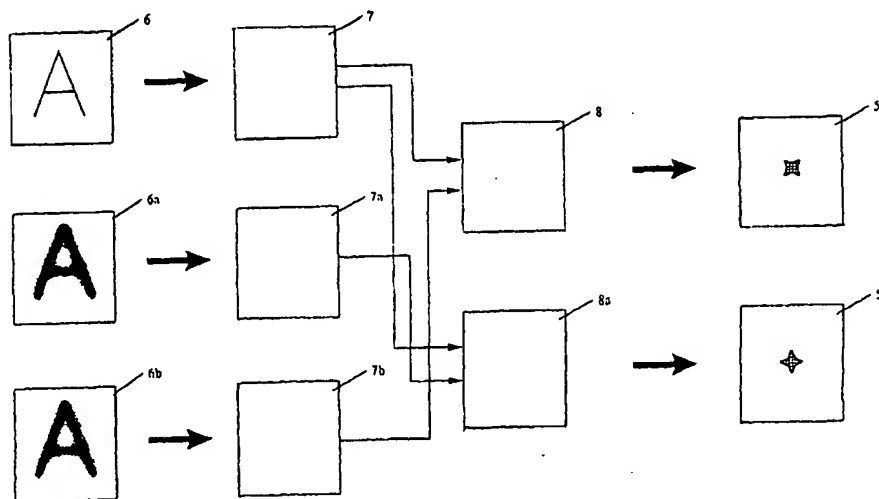
Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eintreffen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **METHOD FOR DETECTING GEOMETRICAL-OPTICAL ABERRATIONS**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG GEOMETRISCH OPTISCHER ABBILDUNGSFEHLER**



(57) Abstract: The invention relates to a method for detecting geometrical-optical aberrations up to the third order in particle optics systems that use probes, especially in scanning electron microscopes that have a punctiform source, lenses, an object and a detector. The image is detected (6), the process is repeated with an underfocussed or overfocussed beam, and the images (6, 6a, 6b) are subjected to a Fourier transformation. The transformation of the overfocussed as well as of the underfocussed image (7a) is divided (8) by that of the focussed image (7) and the result is subjected to a reverse transformation, thereby detecting the brightness profiles of the probes (5, 5a), that is of the images of the source (1) in the overfocussed and underfocussed state. The asymmetry, the width and/or the curvature of the profile (9, 9a) in the center is determined and aberrations are detected from the differences.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/56057 A1



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Ermittlung geometrisch optischer Abbildungsfehler bis einschliesslich 3. Ordnung in teilchenoptischen, sondenformenden Anordnungen, insbesondere Rasterelektronenmikroskopen, mit einer punktförmigen Quelle, Linsen, einem Objekt und einem Detektor, wobei die Abbildung erfasst wird (6), der Vorgang mit einem unter- und einem überfokussierten Strahl wiederholt wird, die Abbildungen (6, 6a, 6b) in den Fourierraum transformiert werden, die Transformation der überfokussierten als auch unterfokussierten Abbildung (7a) durch die der fokussierten Abbildung (7) dividiert (8) und das Ergebnis zurücktransformiert wird, und somit die Helligkeitsprofile der Sonden (5, 5a), d.h. der Abbildungen der Quelle (1) im Über- und Unterfokus, ermittelt werden, die Asymmetrie, die Breite und/oder die Krümmung des Profils (9, 9a) im Schwerpunkt bestimmt wird, und aus den Unterschieden die Abbildungsfehler ermittelt werden.

Verfahren zur Ermittlung geometrisch optischer Abbildungsfehler

5 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Ermittlung geometrisch optischer Abbildungsfehler bis einschließlich 3. Ordnung in teilchenoptischen, sondenformenden Anordnungen, insbesondere Raster-
10 elektronenmikroskopen, mit einer im wesentlichen punktförmigen Quelle, die die Teilchen emittiert, Linsen zur Beeinflussung des Teilchenstrahls, einem Objekt, das durch die Teilchen abgebildet wird, und einem Detektor zur Registrierung der Teilchen bzw. der Abbildung des Objekts.

15 Das Wirkungsprinzip von Rasterelektronenmikroskopen beruht darauf, daß ein scharf gebündelter Elektronenstrahl, dessen Durchmesser die Leistungsfähigkeit und Auflösung bestimmt, zeilenweise über eine
20 zu untersuchende Objektoberfläche geführt wird. Die durch das Objekt hindurchtretenden oder von ihm zurückgestreuten Elektronen bzw. in dessen Oberfläche ausgelöste Sekundärelektronen werden entweder in einem Kollektor gesammelt oder mit Hilfe eines
25 Szintillators und eines nachgeschalteten Fotomultipliers verstärkt und zur Steuerung der Anzeige genutzt. Zur Emission der Elektronen wird eine unter Hochspannung stehende Quelle verwendet, die meist in Form einer Wolframspitze ausgeführt ist, deren
30 Durchmesser im Bereich weniger nm liegt. Mit ihr ist eine im wesentlichen punktförmige Teilchenquelle praktisch beliebig genau realisierbar. Die Abbildung der Quelle, d.h. der Wolframspitze, durch

- 2 -

die Optik des Mikroskops wird in der Regel als Sonde bezeichnet.

Bei teilchenoptischen Anordnungen, insbesondere Rasterelektronenmikroskopen, ist das Auflösungsvermögen sowie die Güte der Abbildung u.a. durch die geometrisch optischen Abbildungsfehler begrenzt, die zur Folge haben, daß punktförmige Objekte in der Abbildung nicht ideal punktförmig wiedergegeben werden. In der Nähe des theoretischen Bildpunktes entsteht als Einhüllende der sich in seiner Nähe tatsächlich schneidenden Strahlen die Kaustik. Bekannt ist der rotationssymmetrische Öffnungsfehler (sphärische Aberration) bei dem sich die achsenparallel einfallenden Strahlen im Bildraum vor dem durch die paraxialen Strahlen gelieferten Bildpunkt bzw. dahinter schneiden. Die axialen Bildfehler höherer Zähligkeit führen zu Vergrößerungen des Bildpunktes, die in Abhängigkeit vom Azimut unterschiedlich ausfällt. Beim zweizähligen Astigmatismus wird ein kreisförmiges Objekt in der Bildebene zu einer elliptischen Abbildung verzerrt, da die meridionalen und die dazu senkrechten sagittalen Strahlen unterschiedliche Brennweiten haben. Zur Korrektur dieser bis zur 3. Ordnung reichenden axialen Abbildungsfehler ist der Einsatz von aus unrunder Linsensystemen bestehenden Korrektiven bekannt, sowie beispielsweise aus der PCT/DE98/02596 ein Verfahren zur Beseitigung sämtlicher axialer Bildfehler bis zur 3. Ordnung, um das Auflösungsvermögen zu erhöhen.

Als nachteilig hierbei ist anzusehen, daß die im

Bildpunkt erhaltenen Informationen sowohl bestimmt werden durch die optischen Bildfehler des abbildenden sondenformenden optischen Systems als auch durch die Objektstruktur selbst. Zur Bestimmung der Bildfehler wäre es deshalb notwendig, die Objektstruktur zu kennen, um aus der erhaltenen Abbildung und der bekannten Objektstruktur Rückschlüsse auf Art und Größe des Abbildungsfehlers ziehen zu können.

10

Ausgehend vom Stand der Technik hat sich die Erfindung zur Aufgabe gestellt, ein Verfahren anzugeben, mit dem die geometrisch optischen Abbildungsfehler ermittelt werden können, ohne die Objektstruktur, die durch den von der Quelle emittierten Teilchenstrahl abgebildet wird, genau zu kennen.

15

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß das Objekt mit einem auf das Objekt fokussierten Teilchenstrahl abgebildet und die Abbildung erfaßt wird, der Vorgang mit einem unter- und einem überfokussierten Strahl wiederholt wird, die Abbildungen in den Fourierraum transformiert werden, die Transformation der überfokussierten Abbildung durch die der fokussierten dividiert und das Ergebnis zurücktransformiert wird, die Transformation der unterfokussierten Abbildung durch die der fokussierten dividiert und das Ergebnis zurücktransformiert wird, und damit die Helligkeitsprofile der Sonden, d.h. der Abbildungen der Quelle im Über- und Unterfokus, ermittelt werden, die Asymmetrie der Profile bezüglich des Schwerpunktes, die Breite der Profile, insbesondere die Halbwertsbreite, und die

20

25

30

Krümmung der Profile im Schwerpunkt bestimmt wird, und aus den Unterschieden der Profile der Sonden hinsichtlich dieser Größen die Abbildungsfehler ermittelt werden.

5

Die Grunderkenntnis der Erfindung besteht darin, daß bei einer Transformation der Abbildungen des Objekts mit einem auf das Objekt fokussierten und einem über- bzw. unterfokussierten Teilchenstrahl sowie einer anschließenden Division der Transformatierten im Fourierraum die Objektstruktur aus dem erhaltenen Quotienten herausdividiert wird. Die Abbildung entspricht mathematisch einer Faltung des Objekts mit einer fokussierten oder defokussierten Sonde, also im Fourierraum einem Produkt aus Objekt- und Sondeninformation. Demzufolge kann nach der Fouriertransformation die Objektinformation durch eine Division der beiden Transformatierten eliminiert werden. Das bedeutet, daß durch die Division im Fourierraum die in den Transformationen der Abbildungen enthaltenen Informationen des abzubildenden Objekts eliminiert werden, sodaß die Informationen über die optischen Bildfehler verbleiben. Hierbei ist gemäß üblicher Terminologie unter dem Begriff unter- bzw. überfokussiert zu verstehen, daß der Teilchenstrahl nicht in der Ebene des Objekts gebündelt ist, sondern bezüglich der optischen Achse davor oder dahinter. Ist der Defokus groß gegen den Sondendurchmesser bei einer Abbildung mit einem fokussierten Teilchenstrahl, ist das fokussierte Bild eine näherungsweise ausreichende Wiedergabe der Objektstruktur. Die hierzu notwendige Bedingung einer im wesentlichen punktförmigen

10

15

20

25

30

- 5 -

Quelle wird durch die oben beschriebene Wolframspitze hinreichend erfüllt. In diesem Fall kann die defokussierte Sonde, d. h. eine Abbildung der Quelle mit einem defokussierten Teilchenstrahl, aus der Rücktransformation des Quotienten, der keine Informationen mehr über die Objektstruktur enthält, erhalten werden. Nach dieser Rücktransformation können die geometrisch optischen Abbildungsfehler ermittelt werden, die zur Verzerrung der Sondenprofile führen. Dazu werden durch die Sonderprofile Schnitte gelegt, um den Verlauf von Intensität bzw. Helligkeit der Abbildungen im Profil, d. h. senkrecht zur optischen Achse, zu ermitteln. Die Schnitte werden, wie weiter unten ausgeführt, in äquidistanten Winkelintervallen angelegt, um auch die Helligkeits- bzw. Intensitätsverteilung der Abbildung um die optische Achse zu bestimmen. Zur Ermittlung der geometrisch optischen Bildfehler werden die Asymmetrie der Profile bezüglich des Schwerpunktes bestimmt, in dem die Meßwerte des Schnitts links und rechts vom Schwerpunkt voneinander subtrahiert werden, die Breite des Schnitts, wobei hier zur Vereinfachung der Auswertung zumeist die Halbwertsbreite gewählt wird, und/oder dessen Krümmung im Schwerpunkt. Aus diesen zumeist unterschiedlichen Werten für die über- und unterfokussierten Sonden können auch noch Mittelwerte und/oder Differenzen gebildet werden. Aus diesen winkelabhängigen Werten kann der Fachmann die Bildfehler ermitteln und daraus durch Einstellen eines Korrektivs oder mit Hilfe mathematischer Bildrekonstruktionsverfahren die Korrektur vornehmen, um eine scharfe, nicht verzerrte Abbildung zu erhalten.

ten.

Der Vorteil der Erfindung besteht darin, daß lediglich ein Objekt mehrmals abgebildet werden muß, um
5 aus den fokussierten, über- und unterfokussierten Abbildungen die geometrischen Abbildungsfehler zu ermitteln, ohne daß die tatsächliche Struktur des Objekts bekannt sein muß. Daraus können Korrekturgrößen ermittelt werden, mit denen bei späteren
10 Meßreihen und anderen Objekten die erhaltenen Meßergebnisse, d.h. Abbildungen, korrigiert werden, um zu einer scharfen Abbildung zu gelangen. Hierzu wird die Optik der Anordnung auf analoge Weise durch Einstellung eines Korrektivs entsprechend justiert oder mathematische Korrekturverfahren angewandt, um die Fehler zu kompensieren.
15

Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind Gegenstand von Unteransprüchen.

20 Zur Durchführung der Fouriertransformation bei einem auf das Objekt fokussierten oder defokussierten Teilchenstrahl wird vorgeschlagen, daß die Transformation mathematisch vorgenommen wird, insbesondere nach der dem Fachmann bekannten Fast-Fourier-Transformation. Prinzipiell ist es auch möglich,
25 eine solche Transformation auf analoge Weise durch Herstellung eines Beugungsbilds vorzunehmen. Mit den selben Methoden können auch Rücktransformationen der jeweiligen Quotienten erfolgen.
30

Besonders bei Rasterelektronenmikroskopen bestehen die Linsen zur Beeinflussung der Richtung des Elek-

tronenstrahls aus elektrischen und/oder magnetischen Multipolen, da mit ihnen in einfacher und dem Fachmann bekannter Weise der Elektronenstrahl gebündelt und abgelenkt werden kann. Bei dieser Art von Linsen ist auch eine Korrektur der geometrisch optischen Abbildungsfehler auf einfache Weise realisierbar, da hier die elektrischen und/oder magnetischen Felder mit einem nach dem oben beschriebenen Verfahren ermittelten Korrekturfaktor beaufschlagt d. h. verändert werden, um eine fehlerfreie Abbildung des Objekts zu erhalten.

Um sicher zu stellen, daß die Information der Objektstruktur durch die Division im Fourierrraum tatsächlich eliminiert wird, muß die Breite der defokussierten Sonde, d.h. der Abbildung der Quelle im defokussierten Zustand, mindestens zehn mal größer sein, als die Breite der fokussierten Sonde bzw. der tatsächlichen Breite der Teilchenquelle.

Vorteilhafterweise werden die Schnitte durch die Sondenprofile in äquidistanten Winkelintervallen, insbesondere alle 15 Grad, gelegt, um eine hinreichende Auflösung der Helligkeits- bzw. Intensitätsprofile um die optische Achse zu erhalten. Zur Ermittlung der geometrisch optischen Abbildungsfehler werden die Zähligkeiten der Schnitte untersucht, d. h. wie viele Symmetrieebenen das Sondenprofil senkrecht zur optischen Achse aufweist.

Die Asymmetrie der Schnitte dienen der Ermittlung der Abbildungsfehler zweiter Ordnung. Da diese in Über- und Unterfokus theoretisch gleich sein soll-

ten, kann aus beiden Messungen der Mittelwert zur weiteren Analyse gebildet werden, wobei dieser aus dem Über- und Unterfokus gebildete und vom Schnittwinkel w abhängige Mittelwert im Hinblick auf den Schnittwinkel einer Analyse auf die ein- und dreizähligen Winkelkomponenten, beispielsweise mit Hilfe einer Fourieranalyse, nach dem Schnittwinkel w unterzogen wird. Die einzählige Komponente stellt im Hinblick auf Orientierung und Größe den Wert der axialen Koma 2. Ordnung dar; die dreizählige Komponente der Analyse liefert nach Orientierung und Größe den Wert des dreizähligen Astigmatismus 2. Ordnung.

Die vom Schnittwinkel w abhängigen Breiten $BR(w)$ und Krümmungen $KR(w)$ der Sondenprofile können zur Bestimmung weiterer geometrisch optischer Bildfehler verwendet werden. Allgemein gesprochen ergibt die Breite BR der Sondenprofile eine Ermittlungsgrundlage für die Bildfehler 1. Ordnung und die ermittelten Werte der Krümmung KR die Werte der Abbildungsfehler 3. Ordnung. Zur Analyse ist jedoch folgende Vorgehensweise erforderlich: Gemeinsam ist, daß jeweils die Differenzen zwischen den Meßwerten bei Über- und Unterfokus in Abhängigkeit vom Schnittwinkel w ermittelt werden. Im fehlerfreien Fall würden die Differenzen verschwinden. Auch hier ist eine Analyse der erhaltenen Differenzwerte nach ihrer Zähligkeit über den Schnittwinkel w , beispielsweise mit Hilfe der Fourieranalyse, vorzunehmen. Man erhält auf diesem Wege die nach ihren Zähligkeiten geordneten Komponenten des Spektrums in Abhängigkeit vom Schnittwinkel w . Die entsprechende

5 Zähligkeit erlaubt die Zuordnung zu den entspre-
 chenden geometrisch optischen Bildfehlern; der be-
 tragsmäßige Wert und - abgesehen von dem rotations-
 symmetrischen Bildfehler - dessen Orientierung
10 einen Rückschluß auf die Größe und ggf. Ausrichtung
 eines bestimmten Bildfehlers. Grundsätzlich gilt,
 daß die Breiten BR des Sondenprofiles bzw. den Dif-
 ferenzen im Über-/Unterfokus die Bildfehler 1. Ord-
 nung, nämlich Defokussierung und zweizähliger
15 Astigmatismus 1. Ordnung, zu ermitteln erlauben.
 Die nullzählige Komponente ermittelt über den
 Schnittwinkel der Differenz der Breite, also der
 über den Schnittwinkel w gebildete Mittelwert, der
 somit richtungsunabhängig ist, ergibt eine Maßzahl
20 für die Fokussierung bzw. Defokussierung des elek-
 tronenoptischen Systems. Der nullzählige Bildfehler
 erster Ordnung stellt die Defokussierung dar.

20 Die durch die gleiche Fourieranalyse ermittelte
 zweizählige Komponente aus der Differenz der Brei-
 ten der Sondenprofile ergibt nach Größe und Orien-
 tierung den Wert des Fehlers des zweizähligen
 Astigmatismus 1. Ordnung.

25 Aus den Krümmungen der Sondenprofile $KR(w)$ bzw.
 der aus Über- und Unterfokus gebildeten Differenzen
 lassen sich die einzelnen Fehlerkomponenten der
 Bildfehler 3. Ordnung ebenfalls durch eine Analyse
 der Zähligkeit über den Schnittwinkel, beispiels-
30 weise durchgeführt mit Hilfe einer Fourieranalyse,
 ermitteln. Auch hier sind in Abhängigkeit von der
 Zähligkeit bestimmte Bildfehler zugeordnet, wobei
 die Größe der Komponente den Betrag und die Orien-

tierung des vorhandenen Bildfehlers wiedergeben. So ergibt die nullzählige Komponente, d. h. Mittelwert über den Schnittwinkel w eine Maßzahl für den Öffnungsfehler 3. Ordnung (sphärische Aberration) an.
5 Die zweizählige Komponente gibt nach Betrag und Richtung die Maßzahl für den Sternfehler 3. Ordnung. Schließlich ergibt die vierzählige Komponente, ebenfalls nach Betrag und Richtung, den Wert für den vierzähligen Astigmatismus wieder. Damit
10 sind sämtliche elektronenoptische Bildfehler 3. Ordnung ermittelt.

Da bei realen optischen Systemen die Abbildungsfehler 1. und 3. Ordnung niemals vollständig in Breite und Krümmung entkoppelt sind, kann eine genauere
15 Ermittlung der Fehler 3. Ordnung dadurch erfolgen, daß anstatt der Krümmung (KR) oder der Breite (BR) bzw. der jeweiligen Differenzen Linearkombinationen beider Werte nach obigem Schema verwendet werden.
20 Die jeweils zugehörigen Multiplikationsfaktoren α und β nach der Formel:
$$\alpha * BR + \beta * KR$$

müssen für jede teilchenoptische Anordnung auf empirischem Wege ermittelt werden, um zum bestmöglichen
25 Resultat zu gelangen. Für den Öffnungsfehler 3. Ordnung ist der Mittelwert über den Schnittwinkel w zu bilden.

30

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung lassen sich dem nachfolgenden Beschrei-

bungsteil entnehmen, in dem anhand mehrerer Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung näher dargestellt sind. Es zeigen:

- 5 **Figur 1** eine schematische Darstellung eines Raster-
 elektronenmikroskops,
 Figur 2 ein Flußdiagramm zur Ermittlung der Sonden-
 form,
 Figur 3 Analyse eines Sondenprofils,
10 **Figur 4+5** Schnitte durch ein Sondenprofil.

Bei dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel der Erfindung handelt es sich um ein Raster-
elektronenmikroskop, bei dem von einer Quelle (1),
15 zumeist einer annähernd punktförmigen Wolfram-
 spitze, Elektronen emittiert, und mit Linsen (2)
 wie beispielsweise elektrischen und/oder magneti-
 schen Multipolen zeilenweise über das abzubildende
 Objekt (3) geführt werden, wie durch die Pfeile an-
20 gedeutet. Die vom Objekt (3) zurückgestrahlten
 Elektronen, bzw. die von ihm emittierten Sekundär-
 elektronen, werden mit Hilfe eines geeigneten De-
 tektors (4) registriert, der eine Abbildung in Form
 einer Helligkeits- oder Intensitätsverteilung re-
25 gistriert.

In Figur 2 ist die Vorgehensweise dargestellt, mit
der die Sondenformen (5,5a) erhalten werden. Dazu
wird das Objekt (3) mit einem fokussierten, einem
30 über- und unterfokussierten Teilchenstrahl abgebil-
 det, und anschließend diese Abbildungen (6,6a,6b)
 einer Fouriertransformation unterzogen. Nach der
 Divison (8) der Transformierten (7a) der überfokus-

5 sierten Abbildung durch die Transformierte (7) der
fokussierten Abbildung sowie der Rücktransformation
des Quotienten sind die Informationen des abgebil-
deten Objekts (3), die in den ursprünglichen Abbil-
dungen (6,6a,6b) noch enthalten waren, herausdivi-
diert, und als Ergebnis lediglich die Form der
Sonde im Über- bzw. Unterfokus (5,5a) erhalten
wird. Ebenso wird mit der Transformierten im Unter-
fokus (7b) verfahren.

10

 Anschließend werden, wie in Figur 3 dargestellt,
Schnitte entlang verschiedener Winkel durch die
Sonde (5) gelegt, und aus den unterschiedlichen
Formen der Schnitte (9, 9a), wie in den Figuren 4
15 und 5 dargestellt, insbesondere deren Asymmetrie,
Halbwertsbreite oder Krümmung im Schwerpunkt die
verschiedenen geometrisch optischen Abbildungsfeh-
ler, wie oben beschrieben, ermittelt.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

=====

- 5 1. Verfahren zur Ermittlung geometrisch optischer
Abbildungsfehler bis einschließlich 3. Ordnung in
teilchenoptischen, sondenformenden Anordnungen,
insbesondere Rasterelektronenmikroskopen, mit einer
im wesentlichen punktförmigen Quelle, die die Teil-
10 chen emittiert, Linsen zur Beeinflussung des Teil-
chenstrahls, einem Objekt, das durch die Teilchen
abgebildet wird, und einem Detektor zur Registrie-
rung der Teilchen bzw. der Abbildung des Objekts,
dadurch gekennzeichnet, daß
- 15 - das Objekt (3) mit einem auf das Objekt (3) fo-
kussierten Teilchenstrahl abgebildet und die Abbil-
dung (6) erfaßt wird,
- 20 - der Vorgang mit einem unter- und einem überfokus-
sierten Strahl wiederholt wird,
- die Abbildungen (6,6a,6b) in den Fourierraum
transformiert werden,
- 25 - die Transformation der überfokussierten Abbildung
(7a) durch die der fokussierten (7) dividiert und
das Ergebnis (8) zurücktransformiert wird,
- 30 - die Transformation der unterfokussierten Abbil-
dung (7b) durch die der fokussierten (7) dividiert
und das Ergebnis (8a) zurücktransformiert wird und
damit die Helligkeitsprofile der Sonden (5,5a),

- 14 -

d.h. der Abbildungen der Quelle im Über- und Unterfokus, ermittelt werden,

5 - die Asymmetrie (AS) der Profile (9,9a) bezüglich des Schwerpunktes, die Breite (BR) der Profile (9,9a), insbesondere die Halbwertsbreite, und/oder die Krümmung (KR) der Profile (9,9a) im Schwerpunkt bestimmt wird,

10 - aus den Unterschieden der Profile (9,9a) der Sonden (5,5a) hinsichtlich dieser Größen die Abbildungsfehler ermittelt werden.

15 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Fouriertransformationen bzw. die Rücktransformationen auf mathematischem und/oder optischem Wege, vorzugsweise durch Erzeugung des Beugungsbildes, erhalten werden.

20

25 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Teilchenstrahl mit elektrischen und/oder magnetischen Multipolen beeinflußt wird.

30 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Breite der defokussierten Abbildung (5,5a) der Quelle (1) mindestens zehn mal größer ist als die Breite der fokussierten Abbildung der Quelle (1) bzw. der Quelle (1) selbst.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß durch die Sondenprofile in Über- und Unterfokus in Winkelintervallen, insbesondere alle 15 Grad, Schnitte gelegt werden, und für jeden Schnitt die oben angeführten Größen ermittelt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Ermittlung des Bildfehlers der axialen Koma 2. Ordnung die Mittelwerte der Asymmetrien (AS) der Schnitte durch die Sonden in Über- und Unterfokus in Abhängigkeit von den Schnittwinkeln "w" gebildet und Größe und Orientierung der einzähligen Komponente dieser Mittelwerte, bevorzugt durch Fourieranalyse über den Schnittwinkel "w", bestimmt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Ermittlung des Bildfehlers des dreizähligen Astigmatismus 2. Ordnung die Mittelwerte der Asymmetrien (AS) der Schnitte durch die Sonden in Über- und Unterfokus in Abhängigkeit von den Schnittwinkeln "w" gebildet und Größe und Orientierung der dreizähligen Komponente dieser Mittelwerte, bevorzugt durch Fourieranalyse über den Schnittwinkel "w", bestimmt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**

5 net, daß zur Ermittlung der Defokussierung die Differenz zwischen den Breiten (BR) der Schnitte durch die Sonden in Über- und Unterfokus in Abhängigkeit von den Schnittwinkel "w" gebildet und die Größe der nullzähligen Komponente dieser Differenzen, vorzugsweise durch Fourieranalyse über den Schnittwinkel "w", bestimmt wird.

10 9. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung des zweizähligen Astigmatismus 1. Ordnung die Differenz zwischen den Breiten (BR) der Schnitte durch die Sonden in Über- und Unterfokus in Abhängigkeit von den Schnittwinkel
15 "w" gebildet und die Größe der zweizähligen Komponente dieser Differenzen, vorzugsweise durch Fourieranalyse über den Schnittwinkel "w", bestimmt wird.

20 10. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung des Öffnungsfehlers 3. Ordnung die Differenz zwischen der Krümmung KR der Schnitte durch die Sonden in Über- oder Unterfokus
25 in Abhängigkeit von den Schnittwinkeln "w" gebildet und die Größe der nullzähligen Komponente dieser Differenzen, vorzugsweise durch Fourieranalyse über den Schnittwinkel "w", bestimmt wird.

30 11. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung des Sternfehlers 3. Ordnung die Differenz zwischen der Krümmung KR der Schnitte

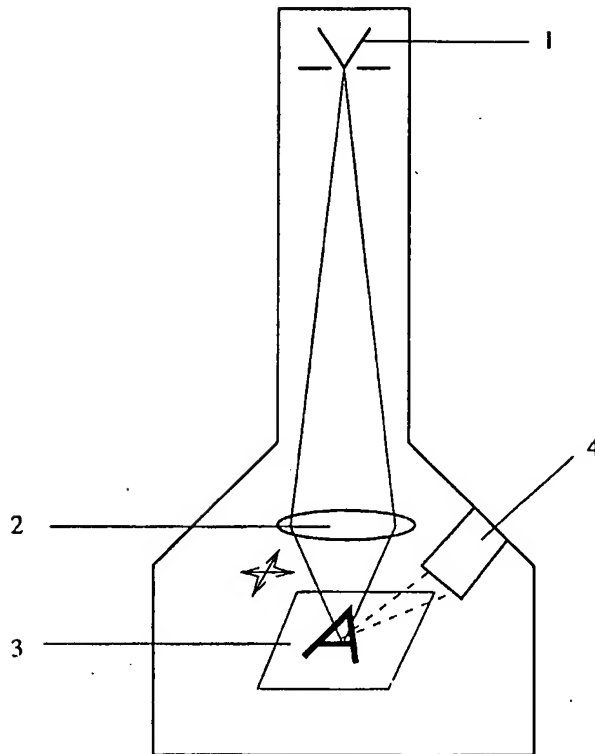
durch die Sonden in Über- oder Unterfokus in Abhängigkeit von den Schnittwinkeln "w" gebildet und die Größe der zweizähligen Komponente dieser Differenzen, vorzugsweise durch Fourieranalyse über den Schnittwinkel "w", bestimmt wird.

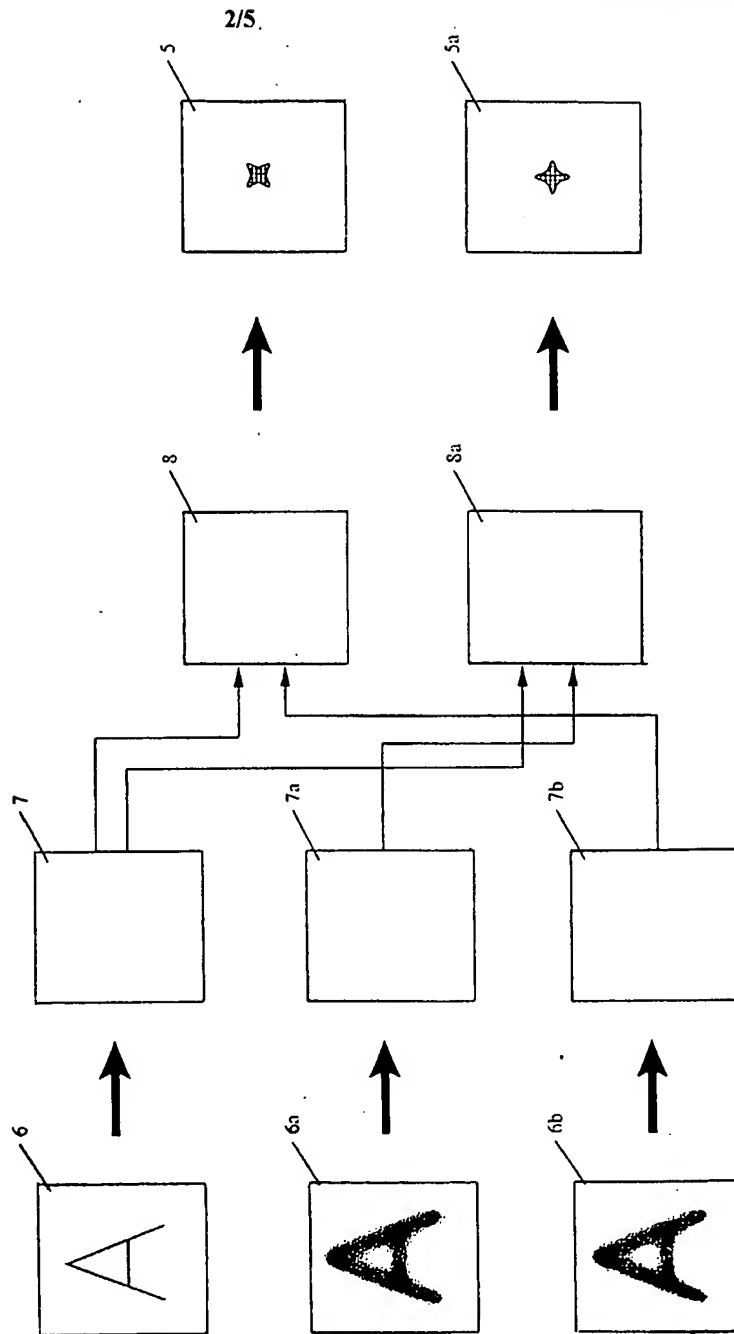
12. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Ermittlung des vierzähligen Astigmatismus 3. Ordnung die Differenz zwischen der Krümmung KR der Schnitte durch die Sonden in Über- oder Unterfokus in Abhängigkeit von den Schnittwinkeln "w" gebildet und die Größe der vierzähligen Komponente dieser Differenzen, vorzugsweise durch Fourieranalyse über den Schnittwinkel "w", bestimmt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Bestimmung des Öffnungsfehlers 3. Ordnung anstatt der Differenz der Krümmung (KR) die Differenz einer Linearkombination von Krümmung (KR) und Breite (BR) in der Form

$$\alpha * BR + \beta * KR$$

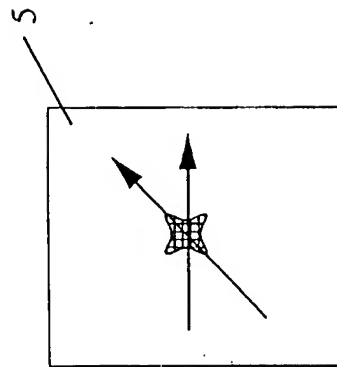
verwendet wird, wobei α und β empirisch ermittelt werden und den jeweiligen Mittelwert über den Schnittwinkel "w" darstellen.

Figur 1:

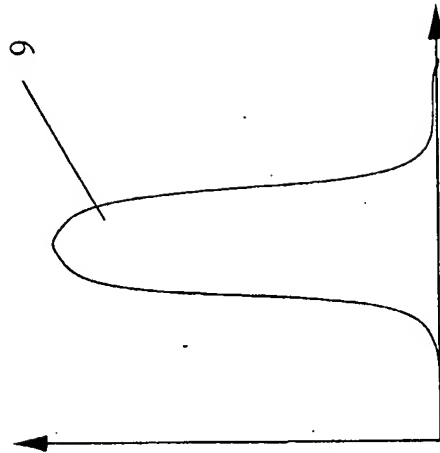


Figur 2:

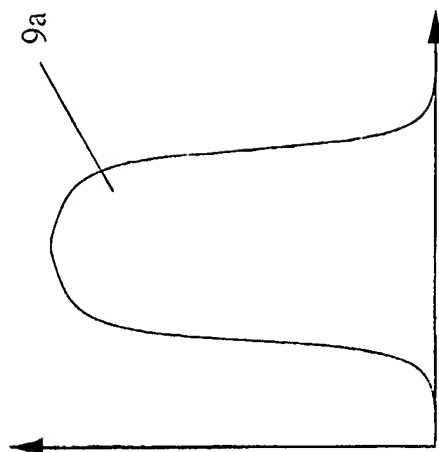
Figur 3:



Figur 4:



Figur 5:



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 Intern. Application No
 PCT/DE 00/04578

 A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 H01J37/153

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	OGASAWARA M ET AL: "Automatic focusing and astigmatism correction method based on Fourier transform of scanning electron microscope images" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, PART 1 (REGULAR PAPERS, SHORT NOTES & REVIEW PAPERS), FEB. 1999, PUBLICATION OFFICE, JAPANESE JOURNAL APPL. PHYS, JAPAN, vol. 38, no. 2A, pages 957-960, XP002167741 ISSN: 0021-4922 the whole document ---	1
A	GB 2 305 324 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO) 2 April 1997 (1997-04-02) abstract; figures --- -/--	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 May 2001

Date of mailing of the international search report

01/06/2001

Name and mailing address of the ISA

 European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Schaub, G

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern: I Application No
PCT/DE 00/04578

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No. .
A	ZACH J ET AL: "Aberration correction in a low voltage SEM by a multipole corrector" NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION - A: ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT, NL, NORTH-HOLLAND PUBLISHING COMPANY. AMSTERDAM, vol. A363, no. 1, 1995, pages 316-325, XP004009662 ISSN: 0168-9002 page 318, right-hand column, paragraph 1 -page 319, left-hand column, paragraph 1 ---	1,3
A	DE 197 39 290 A (CEOS CORRECTED ELECTRON OPTICA) 11 March 1999 (1999-03-11) cited in the application abstract; figures -----	1,3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Intern Application No
PCT/DE 00/04578

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 2305324 A	02-04-1997	JP 9082257 A US 5793041 A	28-03-1997 11-08-1998
DE 19739290 A	11-03-1999	WO 9913490 A EP 1012866 A	18-03-1999 28-06-2000

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern des Aktenzeichens

PCT/DE 00/04578

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H01J37/153

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	OGASAWARA M ET AL: "Automatic focusing and astigmatism correction method based on Fourier transform of scanning electron microscope images" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, PART 1 (REGULAR PAPERS, SHORT NOTES & REVIEW PAPERS), FEB. 1999, PUBLICATION OFFICE, JAPANESE JOURNAL APPL. PHYS, JAPAN, Bd. 38, Nr. 2A, Seiten 957-960, XP002167741 ISSN: 0021-4922 das ganze Dokument	1
A	GB 2 305 324 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO) 2. April 1997 (1997-04-02) Zusammenfassung; Abbildungen -/-	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. Mai 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

01/06/2001

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Schaub, G

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
A	<p>ZACH J ET AL: "Aberration correction in a low voltage SEM by a multipole corrector"</p> <p>NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION - A: ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT, NL, NORTH-HOLLAND PUBLISHING COMPANY. AMSTERDAM,</p> <p>Bd. A363, Nr. 1, 1995, Seiten 316-325, XP004009662</p> <p>ISSN: 0168-9002</p> <p>Seite 318, rechte Spalte, Absatz 1 -Seite 319, linke Spalte, Absatz 1</p> <p>----</p>	1,3
A	<p>DE 197 39 290 A (CEOS CORRECTED ELECTRON OPTICA) 11. März 1999 (1999-03-11)</p> <p>in der Anmeldung erwähnt</p> <p>Zusammenfassung; Abbildungen</p> <p>-----</p>	1,3

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Intern les Aktenzeichen

PCT/DE 00/04578

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
GB 2305324	A	02-04-1997	JP	9082257 A	28-03-1997
			US	5793041 A	11-08-1998
<hr/>					
DE 19739290	A	11-03-1999	WO	9913490 A	18-03-1999
			EP	1012866 A	28-06-2000
<hr/>					